

Jarosław STANKIEWICZ¹

MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA KRUSZYW LEKKICH W BUDOWIE JASNYCH NAWIERZCHNI

W artykule przedstawione wstępne prace dotyczące możliwości zastosowania kruszyw sztucznych w budownictwie drogowym. Kruszywa produkowane z materiałów odpadowych mają właściwości umożliwiające ich zastosowanie nawet w wierzchnich warstwach dróg oraz w nowoczesnych rozwiązaniach konstrukcyjnych, m.in. w jasnych nawierzchniach.

1. WSTĘP

Budownictwo drogowe to branża, w której zostało wdrożonych ostatnio wiele innowacyjnych rozwiązań dotyczących technologii budowy dróg i zastosowania nowych materiałów. Głównymi celami prac innowacyjnych jest poprawa bezpieczeństwa ruchu drogowego, zwiększenie trwałości konstrukcji drogowych, ograniczenie kosztów i skrócenie czasu budowy. Wiele rozwiązań jest związanych z zastosowaniem materiałów pochodzących z recyklingu, co w czasach zwiększonej dbałości o środowisko jest kierunkiem bardzo pożądanym. Korzystnym efektem tych działań jest ograniczenie ilości materiałów kierowanych na składowiska, ochrona zasobów naturalnych oraz zmniejszenie kosztów materiałów (surowiec często pozyskiwany jest bezpośrednio w sąsiedztwie budowy).

Do najbardziej nowatorskich rozwiązań należy zastosowanie spoiw przeznaczonych do warstw podbudowy produkowanych z popiołów lotnych, zastosowanie gumy z recyklingu w warstwach bitumicznych, papy odpadowej w budownictwie

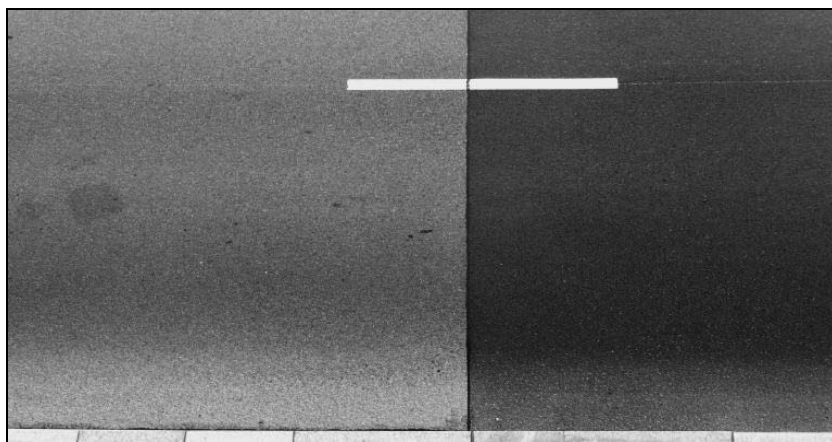
¹ Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Warszawa
j.stankiewicz@imbigs.pl

drogowym, produkcja kruszywa pozyskiwanego z recyklingu dróg i budownictwa ogólnego w warstwach podbudowy i wierzchnich.

Nowym kierunkiem prac innowacyjnych w zakresie infrastruktury drogowej jest budowa tzw. jasnych nawierzchni, charakteryzujących się współczynnikiem luminancji powyżej 0,07 (WT-2 2014...); najczęściej wykorzystuje się jasne kruszywa wbudowane w wierzchnią warstwę (rys. 1).

Zostały podjęte pierwsze działania formalne poprzez opublikowanie w dokumencie (WT-2 2014...) wymagań dla nawierzchni jasnych, w tym opracowanie metodyki badawczej, dotyczącej badania luminancji nawierzchni. Pierwsze próby związane z zastosowaniem nowej technologii zostały wykonane w Niemczech oraz na próbnych odcinkach w kraju. Główne przeszkody do upowszechnienia tej technologii to wysokie koszty materiału i dostępność kruszyw o wymaganych właściwościach optycznych.

W IMBiGS zostały wykonane wstępne prace, zmierzające do opracowania założeń technologicznych produkcji kruszyw, przeznaczonych do jasnych nawierzchni spełniających wysokie wymagania zarówno dotyczące właściwości fizyko mechanicznych jak i wymagań optycznych.



Rys. 1. Nawierzchnia z wbudowaną warstwą kruszywa jasnego (po lewej stronie) na tle nawierzchni budowanej metodą tradycyjną (Bednarz & Ruttmar, 2014)

Fig. 1. Surface with built-in layer of light-colored aggregate (left) against the surface constructed with traditional method (Bednarz & Ruttmar, 2014)

W niniejszym referacie przedstawiono wyniki wstępnych prac, dotyczące możliwości wykorzystania produkowanego kruszywa do jasnych nawierzchni drogowych.

2. ZAŁOŻENIA

Podstawowe aspekty wdrożenia jasnych asfaltów dotyczą (Góralczyk i in. 2009, Grzonkowski, 2013):

1. Poprawy bezpieczeństwa użytkowników dróg (dotyczących kierowców, pieszych, rowerzystów itd.) poprzez poprawne oświetlenie drogi w tym:
 - umożliwienie kierowcy dostrzeżenie w odpowiednim czasie przeszkody na drodze, poprzez zapewnienie odpowiedniego kontrastu pomiędzy obiektem a nawierzchnią. Jasność zależy od instalacji oświetleniowej oraz od stanu nawierzchni. Stanowi dużą część pola widzenia kierowcy i stanowi tło, na którym odznacza się ewentualna przeszkoda,
 - racjonalne oświetlenie drogi w zależności od wymaganego stopnia bezpieczeństwa.
2. Zastosowanie oświetlenia o mniejszej jasności (korzyści ekonomiczne) dla zapewnienia wymaganego poziomu bezpieczeństwa.
3. Zwiększenie trwałości dróg poprzez obniżenie temperatury powierzchni drogi.

Typowymi miejscami wymagającymi szczególnych warunków oświetlenia są przejścia dla pieszych (szczególnie w terenie niezabudowanym), tunele i skrzyżowania, gdzie wymagania bezpieczeństwa są wyższe niż na innych odcinkach drogi.

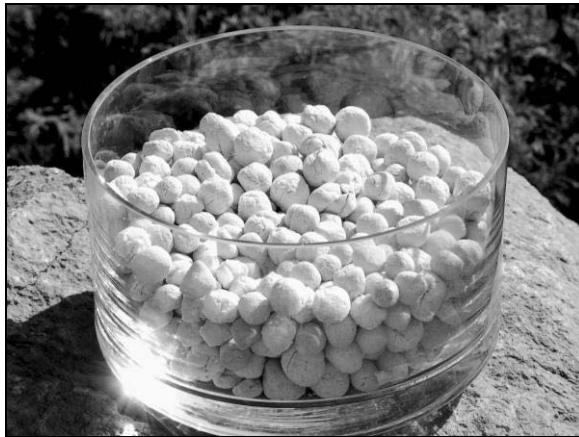
Aktualnie podstawowym utrudnieniem wdrożenia technologii jest brak kruszyw o odpowiedniej jakości. Kruszywa stosowane w wierzchnich warstwach powinny mieć wysoką odporność na polerowanie ($PSV > 50$) przy spełnieniu pozostałych właściwości (WT-2 2014...). Stosowane powszechnie kruszywa; amfibolitowe, bazaltowe, melafirowe, granitowe, to głównie kruszywa o ciemnej barwie. Na rynku dostępne są dwie grupy kruszyw (Błażejowski & Filipczyk, 2014):

- sztuczne, np. spiekany krzemień, charakteryzujące się bardzo jasnym kolorem, wysokim wskaźnikiem luminancji 0,17, niewielkim spadkiem luminancji w stanie wilgotnym (20%) oraz wysokim wskaźnikiem PSV (57). Ich wadą jest wysoka cena od 57 do 80 €/tonę, trudna dostępność na rynku polskim oraz słaba odporność na ścieranie,
- naturalne jasne, charakteryzujące się powszechną dostępnością na rynku polskim, ceną porównywalną do cen innych kruszyw, wystarczającym wskaźnikiem luminancji; wadą jest duży spadek luminancji w stanie wilgotnym oraz niższa ścieralność, polerowalność i przyczepność do lepiszczy asfaltowych

W związku z prowadzeniem w IMBiGS prac dotyczących wdrożenia technologii produkcji kruszyw sztucznych podjęto prace dotyczące dostosowania technologii do produkcji kruszyw spełniających wymagania WT-2 z przeznaczeniem do warstw wierzchnich. Podstawową przesłanką do prowadzenia prac badawczych była możliwość kształtowania właściwości kruszyw w szerokim zakresie w zależności od parametrów procesu technologicznego. Wstępne badania potwierdziły możliwości:

- uzyskania kruszywa o wysokiej odporności na polerowanie ($PSV > 60$),

- uruchomienia produkcji kruszyw na bazie materiałów odpadowych praktycznie w każdym rejonie Polski,
- wyprodukowania kruszywa o właściwościach dostosowanych do wymagań dla kruszyw dla budownictwa drogowego, w tym kruszywa barwy jasnej (rys. 2).



Rys. 2. Widok próbki kruszywa lekkiego wyprodukowanego w warunkach laboratoryjnych
Fig. 2. A sample of lightweight aggregate manufactured under laboratory conditions

3. PRACE BADAWCZE

Opracowany w IMBiGS sposób produkcji kruszyw sztucznych zakładał stosowanie trzech głównych składników – krzemionki (materiał odpadowy pozyskiwany najczęściej z procesów płukania kruszyw) szkła (materiał odpadowy z procesów produkcji szkła lub odpad komunalny po rozdrobnieniu) oraz osadów ściekowych po stabilizacji. Głównym celem technologii było zagospodarowanie osadów ściekowych oraz uzyskanie w wyniku procesu technologicznego bezpiecznego kruszywa lekkiego. Stąd opracowany na tym etapie skład bazowy kruszywa, gwarantujący uzyskanie kruszywa o niskiej gęstości i możliwości maksymalnego zagospodarowania osadów ściekowych (zastosowanie osadu ściekowego umożliwiło uzyskanie porowatej struktury kruszywa). Zawartość krzemionki tak dobrano, aby została utworzona struktura krzemianowa z metalami ciężkimi, która należy do najtrwalszych i gwarantuje brak wymywalności tych metali ze struktury kruszywa. Szkło stanowi topnik, który umożliwia obniżenie temperatury w procesie przemian tworzenia struktury kruszywa. W/w skład kruszywa, parametry procesu technologicznego w tym temperatury procesu oraz czas wypalania został zweryfikowany w początkowym okresie prac badawczych (Góralczyk i in. 2009).

Główny kierunek prac doświadczalnych przy opracowaniu założeń technologii do produkcji kruszyw do jasnych asfaltów dotyczył doboru receptury. Ponieważ liczba

zmiennych, dotyczących procesu badawczego w przypadku kruszyw sztucznych może być duża (prace w zakresie sterowania właściwościami mogą dotyczyć składu, rodzaju składników, parametrów termicznych procesu – temperatury i czasu), na wstępnym etapie prac ograniczono się jedynie do określenia wpływu procentowego udziału głównych składników, tworzących strukturę kruszywa sztucznego. Podstawowe badania przeprowadzono dla 6 próbek, w których zawartość osadów ściekowych zawierała się w granicach od 30–40%, krzemionki od 30–35%, a pozostałą część stanowiło szkło oraz specjalne dodatki, stanowiące częściowo zamienniki podstawowych surowców do produkcji kruszyw sztucznych. Poszczególne próbki ponumerowano według receptur, zawierających kombinację podstawowych składników. Na obecnym etapie prac sprawdzono możliwość zastosowania dodatkowych materiałów odpadkowych spełniających wymagania:

- zawartości krzemionki w ilościach mniej niż 70%, stanowiących zamiennik dotychczas stosowanych surowców zawierających krzemionkę,
- rozwiniętej powierzchni ziaren, umożliwiających wiązanie wody zawartej w osadach ściekowych; ułatwia proces tworzenia granul,
- możliwości zagospodarowania surowców zawierających części organiczne,
- uzyskania po wypaleniu jasnej barwy kruszywa.

Proces technologiczny produkcji kruszyw w skali laboratoryjnej polegał na:

- wymieszaniu składników suchych i mokrych dla uzyskania jednorodnej mieszaniny,
- formowanie granul na prasie walcowej,
- wypalanie w piecu komorowym, w cyklu ustalonym w trakcie prac badawczych,
- studzenie w powietrzu w temperaturze pokojowej.

4. WYNIKI PRAC BADAWCZYCH

Zestawienie wstępnych wyników badań przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Zestawienie podstawowych właściwości kruszyw lekkich
Tab. 1. A summary of basic properties of lightweight aggregates

Nr próbki	Wytrzymałość na miążdżenie [MPa]	Odporność na poślizg <i>PSV</i>	Mrozoodporność
1	6,34	68	0
2	4,24	67	0
3	7,21	61	0
4	5,61	59	0
5	3,61	59	0
6	9,24	57	0

Najważniejszym wskaźnikiem przydatności kruszyw lekkich do zastosowania w wierzchnich warstwach jest badanie mrozoodporności oraz polerowalności kamienia, a także odporności na rozdrabnianie.

Tab. 2. Zestawienie dodatkowych wyników badań wraz z wymaganiami wg WT-2 (IMBiGS, 2014)
Tab. 2. Summary of additional test results together with the requirements according to the WT-2 document (IMBiGS, 2014)

Właściwość kruszywa	Wynik badania dla próbki		Wymaganie w zależności od kategorii ruchu wg WT-2		
	3	6	KR1–KR2	KR3–KR4	KR5–KR7
kruszywo grube do warstwy ścieralnej z betonu asfaltowego, mieszanki sma i bbtm oraz warstwy wiążącej i ścieralnej z asfaltu lanego					
odporność na rozdrabnianie	32	37	LA_{30}	LA_{30}	LA_{25}
odporność na polerowanie	69	60	PSV_{44}	$>PSV_{48}$	PSV_{50}
mrozoodporność	0	0	7	7	7
kruszywo grube do warstwy dolnej i górnej z asfaltu porowatego					
odporność na rozdrabnianie	32	37	–	LA_{20}	LA_{20}
odporność na polerowanie	69	60	–	PSV_{50}	PSV_{50}
mrozoodporność	0	0	–	7	7
kruszywo grube do powierzchniowych utrwaleń					
odporność na rozdrabnianie	32	37	LA_{25}	LA_{20}	–
odporność na polerowanie	69	60	PSV_{44}	PSV_{50}	–
mrozoodporność	0	0	7	7	–



Rys. 3. Widok ziaren kruszywa wyprodukowanych wg receptury 3 (po lewej) i 6 (IMBiGS, 2014)
Fig. 3. Aggregate grains produced according to the recipe 3 (left) and 6 (IMBiGS, 2014)

Wytrzymałość kruszywa (określona na wstępnym etapie prac badaniem normowym dla kruszyw lekkich – wytrzymałością na miażdżenie, która w kolejnym etapie pracy zostanie zastąpiona badaniem *LA*) związana jest głównie z zawartością szkła. Na podstawie dotychczasowych prac należy stwierdzić, że główny kierunek powinien dotyczyć opracowania receptury kruszywa o zadawalającej wytrzymałości mechanicznej. W przypadku pozostałych istotnych właściwości można założyć na podstawie dotychczasowych badań, że kruszywo będzie posiadać mrozoodporność zbliżoną do zera oraz wskaźnik *PSV* nie mniejszy od 57, co należy uznać za wynik zadawalający.

Badania w szerszym zakresie wykonano dla próbek 3 i 6 (tab. 2); widok ziaren kruszywa tych próbek przedstawia rysunek 3.

5. PODSUMOWANIE

Kruszywo sztuczne wg technologii IMBiGS jest nowym wyrobem wśród kruszyw lekkich istniejących na rynku krajowym. Duże możliwości sterowania procesem produkcyjnym pozwalają na uzyskaniu wyrobów o bardzo zróżnicowanych właściwościach. Należy podkreślić, że otrzymany materiał budowlany na bazie osadów ściekowych i odpadów (m.in. wydobywczych) jest produktem w pełni ekologicznym. Struktura kruszyw, wytworzona na bazie związków krzemianowych, jest analogiczna z występującą w minerałach naturalnych. Kruszywo nie posiada substancji reagujących w środowisku naturalnym, nawet po rozdrobnieniu, podczas eksploatacji nie są uwalniane żadne środki chemiczne (jak ma to miejsce przy stosowaniu cementyzacji odpadów). Technologia produkcji kruszyw z osadów ściekowych jest aktualnie na etapie wdrożenia przemysłowego i trwają dodatkowe prace nad poszerzeniem możliwości aplikowania kruszyw z materiałów odpadowych.

Kruszywo sztuczne spełnia wymagania w zakresie polerowalności i mrozoodporności. Dotyczy to wymagań dla wszystkich kategorii ruchu i potencjalnych zastosowań wskazanych w tabeli 3. Wytrzymałość kruszywa, określona wskaźnikiem *LA* dla wszystkich kategorii dróg, jest niższa niż wymagana w dokumencie odniesienia. W przypadku kryterium *LA*₃₀, a więc wartości wskaźnika poniżej 30 prawdopodobnie możliwe są korekty w procesie technologicznym, umożliwiające bezpośrednio zastosowanie badanego kruszywa (dotyczy próbki 3); należy to jednak potwierdzić dodatkowymi badaniami. W pozostałych przypadkach możliwe jest zaprojektowanie mieszanek z kruszywami posiadającymi większą odporność na rozdrabnianie (mogą to być zarówno kruszywa naturalne jak sztuczne). W tym przypadku również konieczne jest potwierdzenie właściwości w wyniku badań laboratoryjnych. Niewątpliwą zaletą kruszyw sztucznych, wyprodukowanych w ramach tej technologii jest duży „zapas”, dotyczący zarówno odporności na warunki środowiskowe jak i polerowalności, co sprzyja tworzeniu mieszanek z innymi kruszywami.

6. WNIOSKI

- Zgodnie z założeniami badań możliwe jest wyprodukowanie kruszyw sztucznych wg technologii IMBiGS przeznaczonych do warstw wierzchnich, w tym jasnych. W zależności od przewidywanego zastosowania, dotyczącego kategorii ruchu, mogą być używane bezpośrednio (KR1, KR2), natomiast przy pozostałych kruszywa te należy stosować w mieszankach, głównie z uwagi na niewystarczającą wytrzymałość zgodnie z wymaganiami dokumentu WT-2 lub przeprowadzić korektę procesu technologicznego.
- Skład kruszyw przeznaczonych do zastosowań w drogownictwie to głównie szkło w ilości ~30%, osad ściekowy ~35% i odpad mineralny (krzemionka) ~35%.
- Proponowana technologia w skali laboratoryjnej umożliwia otrzymanie kruszywa o zakładanych właściwościach.

LITERATURA

- BEDNARZ M., RUTTMAR I., 2014, *Zastosowanie jasnej nawierzchni jezdni na przykładzie realizacji mostu w Toruniu oraz wybrane procedury badawcze*, Mat. Konf. Jasne nawierzchnie jako istotny czynnik znaczącego zwiększenia bezpieczeństwa kierowców i trwałości nawierzchni oraz zmniejszenia kosztów oświetlenia dróg; doświadczenia w Europie i w Polsce, Chorzów.
- BŁAŻEJOWSKI K., FILIPCZYK E., 2014, *Wpływ jasnych nawierzchni na trwałość nawierzchni, bezpieczeństwo i komfort uczestników ruchu*, Mat. Konf. Jasne nawierzchnie jako istotny czynnik znaczącego zwiększenia bezpieczeństwa kierowców i trwałości nawierzchni oraz zmniejszenia kosztów oświetlenia dróg; doświadczenia w Europie i w Polsce, Chorzów.
- GÓRALCZYK S., MAZELA A., UZUNOW E., NAZIEMIEC Z., 2009, *Kruszywa lekkie z osadów ściekowych i odpadów mineralnych*, Górnictwo i geologia XI, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa PWr., nr 125, Studia i Materiały, nr 35, 105–112.
- GRZONKOWSKI J., 2013, *Wybrane zagadnienia oświetlenia drogowego – materiały szkoleniowe*, Bydgoszcz.
- IMBiGS, 2014, *Prace statutowe*, Warszawa.
- WT-2 2014 –część I: *Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania techniczne*.

POSSIBLE APPLICATIONS OF LIGHTWEIGHT AGGREGATES IN CONSTRUCTION OF LIGHT-COLORED ROAD SURFACES

The article presents initial work on the possible application of artificial aggregates in road construction. Aggregates manufactured from waste materials have properties that enable application even in the upper layers of roads and in modern construction solutions (so-called light-colored surfaces).